Instrumentación y control de un prototipo de mezclado con fines didácticos

García López Jorge Isaac, Bazán Ramírez Miguel Angel, Córdova-Aguilar María Soledad
Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico
Circuito Exterior s/n, Coyacán, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, D.F.
jorgeisaac_59@hotmail.com, guelmi.nazab@gmail.com, marisol.cordova@ccadet.unam.mx

RESUMEN

En las universidades y centros de investigación se requiere de la tecnología en laboratorios como apoyo en el proceso de aprendizaje, sin prescindir de la interacción entre alumnos y profesores. Además, es necesaria una actualización y mantenimiento constante dado su continuo uso en el desarrollo de prácticas que permiten recrear fenómenos físico-químicos. Lo anterior, deriva en la necesidad de desarrollar un equipo que sea capaz de reproducir los procesos de mezclado industriales a escala, como apoyo en el proceso de aprendizaje de ciertos parámetros como consumo de potencia y la visualización del fenómeno de mezclado. Se desarrolló la electrónica y la interfaz requerida para el control de las operaciones del prototipo, para el control de velocidad del agitador así como el registro de la medición del par de torsión necesario para el cálculo de potencia administrada al sistema y la adquisición de imágenes del proceso, con las cuales será posible determinar diámetros promedio de objetos dispersos. Así mismo, se llevó a cabo la caracterización del sistema con dos fluidos de prueba (polientilenglicol y glicerina) y tres geometrías de agitadores (Rushton, Scava, Helicoidal), obteniendo como resultados el consumo de potencia en función de la velocidad angular del agitador además de la obtención de imágenes en video para evaluar tiempos de mezclado.

PALABRAS CLAVE: instrumentación, prototipo de mezclado, interfaz electrónica

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las diferentes tecnologías (mecánica, eléctrica, química, etc.) a lo largo de la primera mitad del siglo XX dio lugar a una paulatina elevación de la complejidad de los procesos industriales, haciendo necesario que ciertas variables físicas tengan que ser monitoreadas y controladas de forma sistemática y de manera más precisa. En las industrias química, de alimentos, farmacéutica, de papel, de plástico, petroquímica y

minera, entre otras, la operación de mezclado, desempeña un papel fundamental, ya que se requiere de la dispersión y homogenización de varias fases. Con fines didácticos, se hizo el desarrollo de un prototipo experimental a escala que permita reproducir los procesos de mezclado industriales, demostrar visualmente la manera en que se lleva a cabo el mezclado y permita al usuario asociar otros parámetros de importancia como la potencia y la eficiencia según el tipo de agitador y su velocidad. Se implementó una técnica sencilla, que permite reforzar el proceso de aprendizaje sobre los parámetros involucrados en el mezclado como: el consumo de potencia y la visualización del fenómeno de mezclado. La presente propuesta tiene como fin controlar y monitorear el sistema de mezclado así como la adquisición y procesamiento de datos. Para ello se implementó la electrónica y la interfaz desarrollada en una PC, para el funcionamiento del prototipo, el control de velocidad del agitador así como el registro del par de torsión y la adquisición de imágenes del proceso.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

El prototipo está compuesto de tres subsistemas; el mecánico, el eléctrico electrónico y la interfaz. Estos subsistemas se interconectan como se muestra en la figura 1.

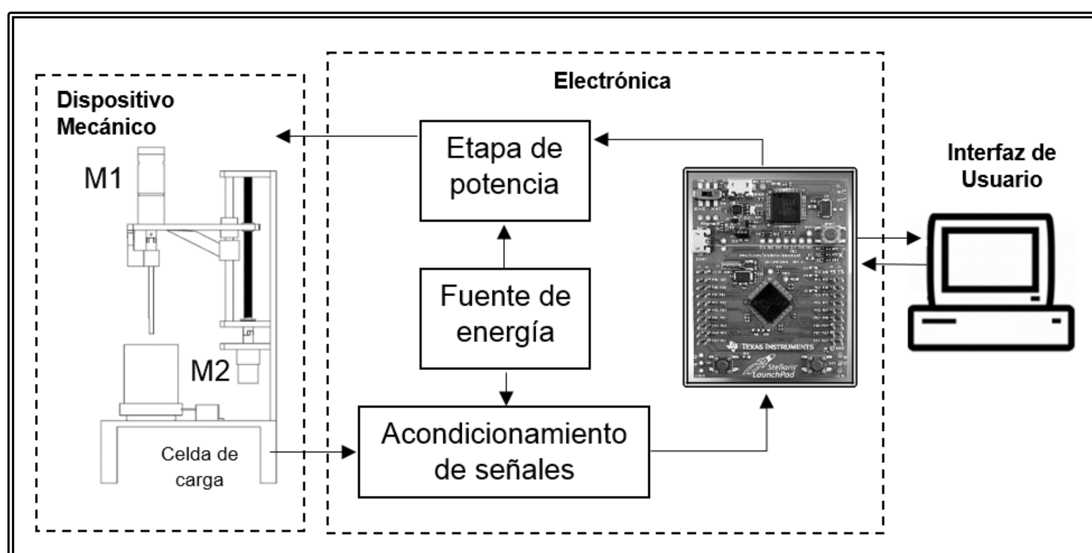


Figura 1. Diagrama general del prototipo.

Cabe mencionar que las cámaras que se utilizan para grabar las imágenes del experimento están conectadas directamente al equipo de cómputo, donde se muestra la interfaz de usuario, por lo que estas no entran en el bloque de electrónica.

3 DESCRIPCIÓN ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA.

El sistema electrónico se compone de 6 elementos: el microcontrolador, el sistema de alimentación o fuente de energía, la etapa de potencia, el acondicionamiento de señales, actuadores y sensores (figura 1). Es importante mencionar que los actuadores y sensores están montados en la parte mecánica.

El microcontrolador MSP430 LaunchPad de TI tiene como función reconocer y activar los motores que dan movimiento a la estructura, es decir, acciona el motor que está conectado al tornillo sinfin y posicionar el agitador dentro del recipiente así como controlar la velocidad del agitador. Estas instrucciones son emitidas desde la interfaz de usuario en una PC desde se está emitiendo un protocolo de comunicación al microcontrolador. Una vez que establece la comunicación, se decodifica que instrucción es la que tiene que ejecutarse y se realiza.

Por otro lado, la fuente de energía tiene como objetivo proveer de voltaje a los circuitos lógicos con 6 V, mientras que a los motores les brinda un voltaje de 24 V y 12 V. Además resiste los picos de corriente de hasta 7 A. El objetivo de la etapa de potencia es aprovechar el voltaje obtenido de la fuente y activar los motores, separando los voltajes altos de alimentación de las señales de activación de los motores lo que permite que la etapa de potencia funcione del mismo modo que un relevador.

El acondicionamiento de señales sirve para filtrar y amplificar las señales de los sensores y tener una mejor lectura. Las señales que lee el microcontrolador son 5, dos señales por motor que pertenecen a los canales de los *encoders* (decodificadores) y la señal de la celda de carga. Éste último, a diferencia de los *encoders* que son señales digitales, es una señal analógica (voltaje). El sensor de presión o celda de carga tiene como finalidad transformar la fuerza que percibe, en un voltaje proporcional a la deformación que causa esta fuerza.

Por último se tienen dos actuadores, que en este caso son motorreductores. El primer motor (M1) es el encargado de posicionar al agitador en su altura de trabajo y funciona a 12 V, con un par de torsión de 12.2 kg.cm, una reducción de 50:1 y una velocidad máxima 200 rpm. Del mismo modo, se tiene el motor (M2) que proporciona la velocidad rotacional

y potencia que se requiere en el agitador, el cual trabaja a 24 V, con 16 kg.cm, una reducción de 49:1 y una velocidad máxima de 150 rpm.

4 DESCRIPCIÓN MECÁNICA

La estructura que le da soporte al prototipo está formado por una base fabricada con una placa de aluminio de dimensiones 200x280x9.5 mm y una columna hecha con una solera de aluminio de 495x50.8x9.5 mm. La estructura es sostenida por cuatro perfiles cuadrados del mismo material de 30 mm (figura 2).

Por otra parte, se tiene un sistema de tornillo sinfin acoplado de manera flexible a M1. El tornillo está acoplado de manera concéntrica al eje de M1, tiene un diámetro de 12.7 mm, un paso de 1.954 y una longitud de 85 mm. En ambos extremos del tornillo se encuentran dos bujes de latón que lo restringen a realizar un movimiento rotacional sobre los ejes perpendiculares del eje axial de la flecha de M1. De forma paralela al tornillo, se encuentra una barra rectificada de acero inoxidable de un diámetro de 6.35 mm que permite el desplazamiento de un rodamiento lineal, con lo que se consigue reducir los momentos angulares que genera el soporte deM2.

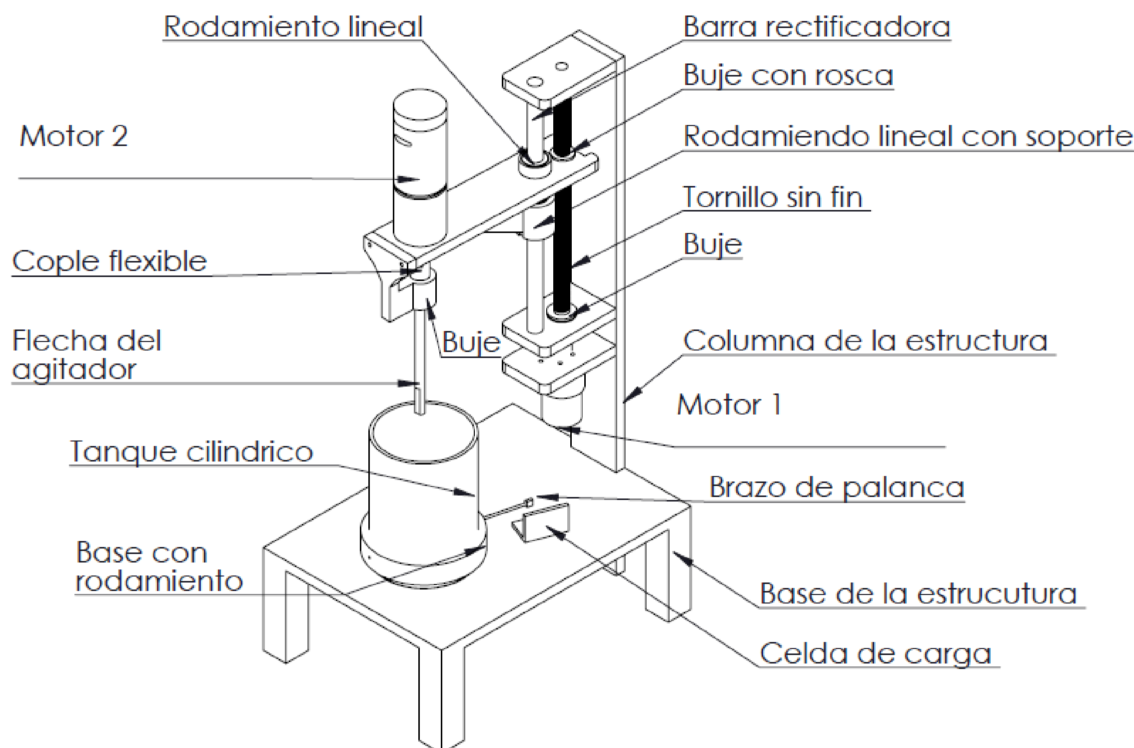


Figura 2. Diagrama de partes mecánicas del prototipo.

El soporte de M2está manufacturado en una solera de aluminio de 195x50.8x9.5 mm, tiene dos barrenos, uno de ellos es para colocar el casquillo que contiene al rodamiento que permite el paso de la barra rectificada, mientras que el otro barreno lleva un buje roscado de un diámetro de 12.7 mm con un paso de 1.954 mm por donde pasa el tornillo sin fin.M2 está conectado a la flecha del agitador mediante un cople flexible de aluminio. Además, para evitar que la flecha tenga momentos angulares sobre los ejes perpendiculares del eje axial de la flecha, se colocó un buje concéntrico a la flecha de M2 en una base en forma de L, la cual a su vez está sujeta al soporte. Por otro lado, la base de M2 tiene una escuadra que va por debajo de ésta misma, evitando que haya momentos angulares en la base del motor. Un extremo de la escuadra va directamente soldada a la base del motor, mientras que el otro extremo lleva soldado un casquillo que contiene un segundo rodamiento lineal que permite el paso de la barra rectificada. La base del buje para la flecha del motor, la escuadra y el casquillo son de aluminio y la flecha del agitador es de acero inoxidable de 6 mm de diámetro.

Del mismo modo, el prototipo cuenta con un tanque cilíndrico transparente de vidrio, con fondo plano, de un diámetro interior de 80 mm y una altura de 110 mm. Además, el prototipo tiene una base con rodamiento axial debajo del tanque cilíndrico, esta base gira debido a que el movimiento rotacional que ejerce el agitador sobre líquido es transmitido a esta base. De este modo se calcula un par de torsión equivalente mediante un brazo de palanca que ejerce una fuerza sobre la celda de carga. Esta característica es de utilidad para poder medir la potencia que ejerce el motor sobre el líquido, considerando las pérdidas por el rodamiento. Cabe mencionar que la base tiene un orificio que nos permite tener una visualización de la parte inferior del tanque con la cámara.

Por último, la agitación mecánica se lleva a cabo mediante los impulsores o agitadores, que son los dispositivos que promueven la dispersión de sólidos, líquidos o gases en líquidos, además de aumentar la transferencia de masa. Los agitadores que se construyeron fueron 3 agitadores de flujo radial y un agitador de cinta helicoidal (figura 3). Los agitadores de tipo radial se caracterizan por tener 6 paletas como la turbina Rushton, mientras que los de flujo radial pueden tener de 3 a 4 paletas como una hélice o propela marina.

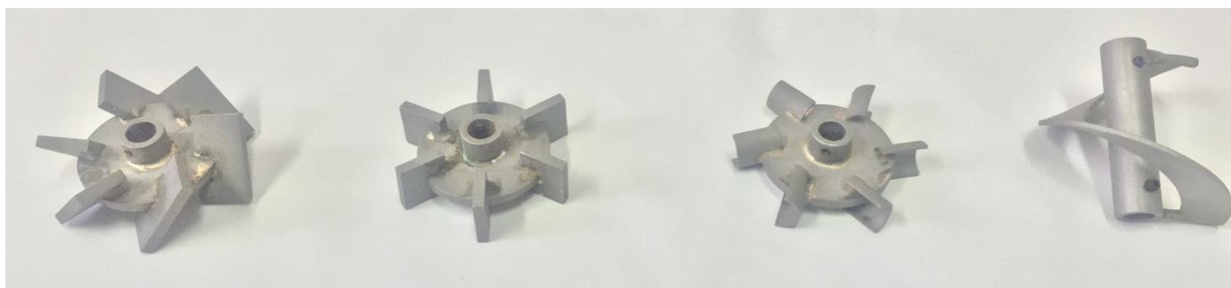


Figura 3. Agitadores de tipo radial y helicoidal.

5 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ.

El medio por el cual el usuario se comunica y maneja el prototipo, se desarrolló en una plataforma *LabVIEW*. Esta plataforma permite el desarrollo y diseño de sistemas de control en tiempo real y simulaciones.

La interfaz tiene como objetivo controlar el sistema mecánico y adquirir imágenes o frames por segundodel proceso de agitación. Esta adquisición se realiza por medio de dos cámaras posicionadas por el frente y debajo del tanque cilíndrico.Esta interfaz cuenta con

una serie de botones de tipo pulsadores y enclavados, que permiten manejar el sistema mecánico, además de mostrar en un display que es lo que están capturando las cámaras.

La interfaz contiene 5 botones con un indicador luminoso, colocados en la parte izquierda de la pantalla y acomodados en forma de columna (figura 4). Los primeros dos, empezando por la parte superior, sirven para poder posicionar al agitador y son de tipo pulsador, el siguiente botón es enclavado y sirve para habilitar la velocidad del agitador, y por último hay dos botones de tipo pulsador, uno de ellos detiene el agitador y el otro detiene el proceso completo de agitado para poder habilitar el botón de subir la estructura. Existe un botón adicional que sirve para el paro de emergencia, este botón es de tipo pulsador y no tiene indicador luminoso. Del mismo modo, la interfaz contiene una perilla que permite seleccionar la velocidad de trabajo del agitador en un rango de 0 a 145 rpm.

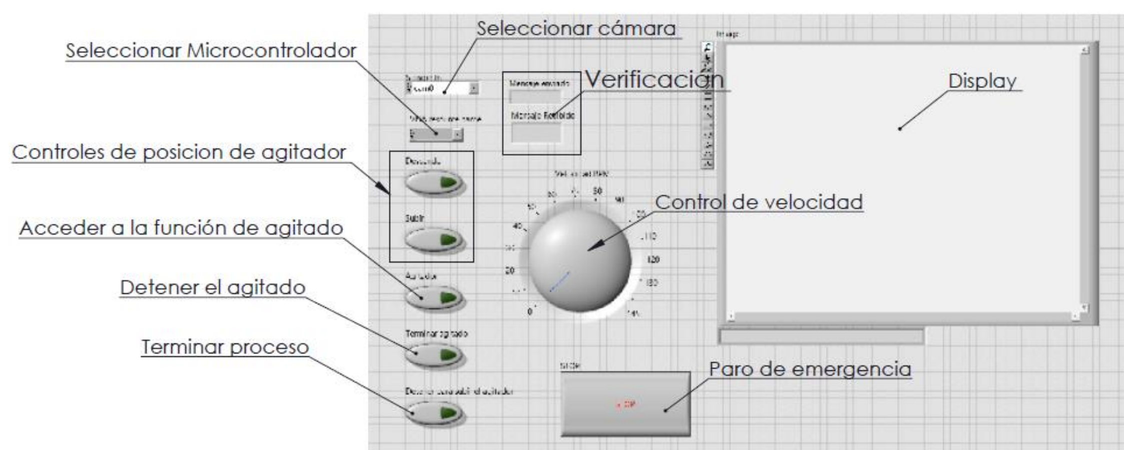


Figura 4. Interfaz de usuario.

Sin embargo, para poder utilizar estas funciones de los botones, primero se debe establecer la comunicación con el microcontrolador mediante un cuadro de texto o control textual, que te permite seleccionarlo con un identificador o el nombre del microcontrolador, que en este caso se maneja como COM1, COM2 y así sucesivamente. Posteriormentese elige en un cuadro de texto similar,la cámara que se va a mostrar en el display con identificadores tales como cam1, cam2, etc.

Es importante mencionar que este medio de comunicación contiene otros dos cuadros de texto que muestran el mensaje que se recibe y se envía al microcontrolador para verificar que el funcionamiento del sistema está estable.

6 RESULTADOS

Con el prototipo en funcionamiento se realizaron pruebas preliminares de proceso de mezclado. Las mezclas que se utilizaron fueron agua o glicerina con verde de bromocresol, como colorante universal, el cual cambia de tono al modificar el pH. Estas pruebas de funcionamiento se hicieron utilizando una turbina Rushton. Las condiciones de velocidad en operación para ambas mezclas fueron:

Velocidad (rpm)
30
60
80
100
120
140

Así mismo se adquirieron imágenes del proceso con glicerina (figura 5). Con ayuda del rodamiento en la base del tanque, se observó que la mezcla con agua no hizo un movimiento que pudiera generar una fuerza considerable en el sensor, por el contrario, la glicerina si ocasionó cierta fuerza de presión en el sensor teniendo una lectura proporcional a esta fuerza, sin embargo la magnitud del valor de la lectura fue muy pequeño.

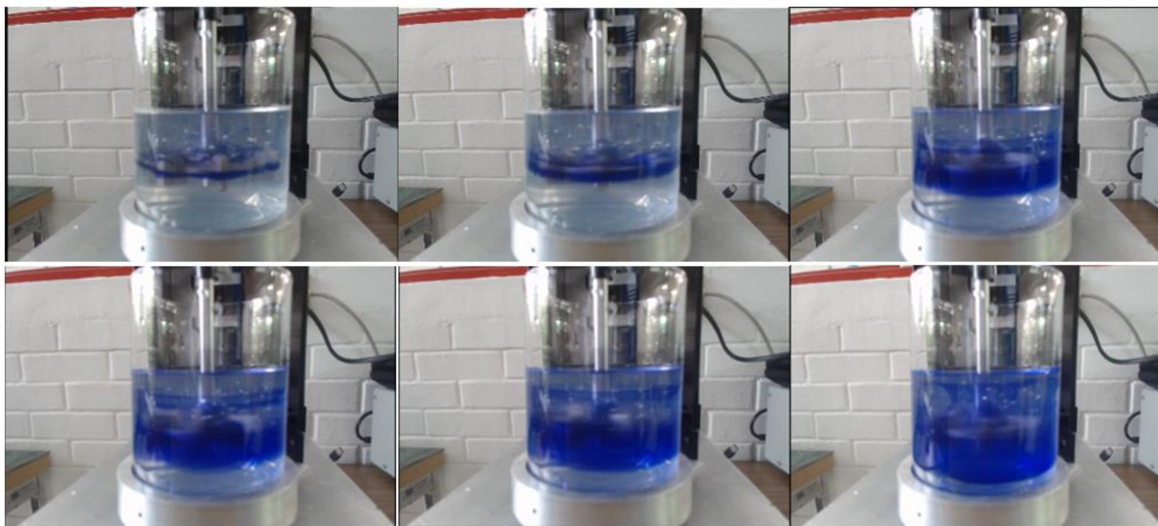


Figura 5. Imágenes de mezcla de glicerina con verde de bromocresol.

7 CONCLUSIONES

El prototipo del sistema de mezclado opera de manera correcta bajo las especificaciones establecidas, es decir, se opera en el rango de velocidades de 0 a 145 rpm. La posición del agitador respecto al fondo del vaso de mezclado es reproducible. El arreglo del brazo de palanca y la celda de carga se comportó de la manera en que se esperaba. No obstante la sensibilidad del sistema no permite adquirir datos para mezclas con muy baja viscosidad (*vg*: agua).. Este comportamiento se debe a que la viscosidad del agua no permite tener un efecto de rotación considerable en la base del tanque, mientras que para la glicerina si se ejerce una fuerza de presión en el sensor que permite tener lecturas. Se puede utilizar el sistema diseñado y construido para la visualización del mezclado y adquirir imágenes que demuestran de manera visual cómo es que la mezcla se va haciendo homogénea en función del fluido de prueba y las diferentes geometrías de agitadores además de poder determinar la potencia suministrada al sistema. Este prototipo es un sistema portátil, por lo que se puede trasladar a los diferentes ambientes de enseñanza.

A futuro se pretende trabajar con otros fluidos y modificar la celda de carga para evaluar par de torsión de sensibilidad menor, para sustancias poco viscosas. Así mismo se pretende validar los contenidos de los protocolos de prácticas en sesiones con estudiantes y con especialistas de enseñanza.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dra. Vega-Alvarado por el soporte técnico en la implementación de la técnica para procesar las imágenes de tiempos de mezclado y a la DI Sandra Angeles por la carcasa y presentación funcional final del prototipo.

REFERENCIAS

Ascanio, G.,Castro, B. and Galindo, E. (2004) Measurement of power consumption in stirred vessels: A review. *Chemical Engineering Research and Design*, 82(A9), 1282-1290.

McCabe, W. L., Smith, J. C., y Harriot, P. (2007). Cap. 9: Agitación y mezcla de líquidos. *En*: Operaciones unitarias en ingeniería química (pp. 259 - 309). México: McGraw-Hill Interamericana.

Middleton, J.C. and Smith, J.M. (2004). Chap. 11: Gas–Liquid Mixing in Turbulent Systems. *In*: Paul, E., Atiemo-Obeng, V., Kresta, S. (Eds.), Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice (pp.). Wiley-Interscience.

Nienow, A. W. (1998) Hydrodynamics of stirred bioreactors. *Applied Mechanical Reviews* 55(1): 3-32.

Reséndiz, R., Martínez, A., Ascanio, G. and Galindo, E. (1991) A new pneumatic bearing dynamometer for power input measurement in stirred tanks. *Chemical Engineering Technology* 14:105-108.

Vega-Alvarado L., Taboada B., Hidalgo-Millán A., Ascanio G. (2011) Image analysis method for the measurement of mixing times in stirred vessels. *Chemical engineering Technology* 34: 859-866.